

攪拌タンク式高効率伝熱・蒸発装置 「ウォールウェッター®」

1. 概要

回分蒸発操作では蒸発に伴い液の減少により液面が下降するので、従来の装置では有効伝熱面積が減少する難点がありました。そのために蒸発速度が徐々に低下し、高濃縮するほど蒸発所要時間が長くなり、エネルギーロスが大きいこと、壁面に固着が起きることなどの大きな問題でありました。ウォールウェッターは「回分式蒸発缶での蒸発時間をなんとかして短縮できないか!」という強いニーズから誕生したものです。仕掛けは簡単で、蒸発缶下部に溜っている液を回転する傾斜したパイプ(写真1)あるいは樋の攪拌機で遠心力で汲み上げ、上部伝熱面に散布するだけで、これらの問題を解決できるようになりました。散布液は薄膜状で伝熱面を流下し(図1)、全伝熱面が常に有効に利用され、伝熱が大きく促進されますので、簡単ですが蒸発缶を高効率化する画期的な機械です。少量の沸騰液でも汲み上げられるので、開始時に液が少なく、試薬を添加・注入して液量が増加して行く反応でも効果は抜群です。伝熱面が常に濡れていることで、側壁の伝熱面への固着や焼付きが減り、洗浄溶剤の使用量が激減することも大きなメリットです。このように蒸発缶のみならず伝熱を必要とする多様なプロセスに有効であり、広く応用されて来ています。常に伝熱面を最大限に使用する機能を活用するウォールウェッターの応用システムとしてはWW蒸発プラス、WW反応プラス、WW蒸留プラス、WW晶析プラス等々、益々開発分野が広がって来ています。WW〇〇プラスとはウォールウェッター(WW)を使用することにより、〇〇に機能がプラスされることを意味して名前にしています。

2. 構造

図1に示すように、水平面に対してある角度で取り付けられたパイプまたは樋を回転し、遠心力のパイプ(樋)軸方向成分が重力のその方向の成分より大きくなると液が汲み上げられ、上部から噴出されます。ウォールウェッターは装置の大小に無関係に使用でき、ウォールウェッターの下部が液内に浸っていれば液が少量でも沸騰液でも持ち上がり、側壁(伝熱面)に噴射されて流下中に加熱または冷却できます。開発当初はパイプ製であったが、医薬製造装置のGMPに適合させるために半割りパイプの洗浄性の良い樋型が多くなって来ています。腐食性液に使用できるグラスライニング製もあります。

3. 特徴

- 3-1 単純な構造で、明確で理論的な裏付けがある。
- 3-2 高効率で伝熱面を常に100%利用できる。
- 3-2 蒸発速度を高く、ほぼ一定にできる。
- 3-4 洗浄性が非常によい。(焼付きが少ない。)
- 3-5 大きなタンクで少量の液にも対応できる。
- 3-6 コイルのあるジャケット付攪拌タンクにも適用可。

4. 加熱・蒸発能力

伝熱面積を常に100%有効に利用できるだけでなく、強制対流を伴う蒸発の伝熱係数も大きいです。図2は100L-WW蒸発缶に50L水を入れ、同じ加熱条件でウォールウェッターを入れた場合とタービン翼を入れた場合の蒸発所要時間の比較を示します。

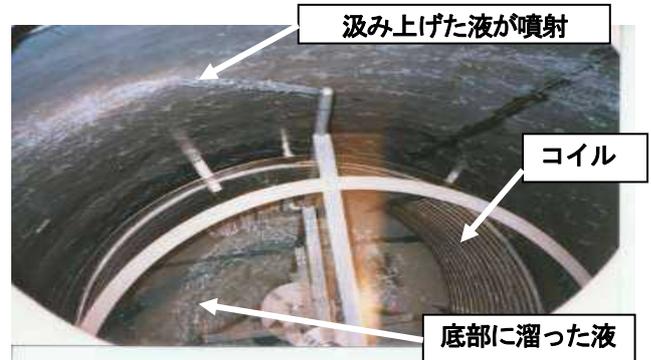


写真1 2.5 m³の蒸発装置 (運転時)
(固着なし：マンホールから内部を撮影)

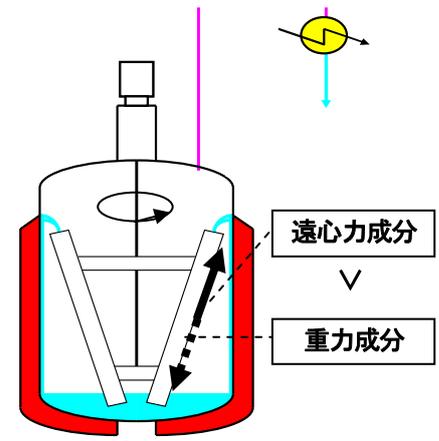


図1 ウォールウェッター蒸発装置

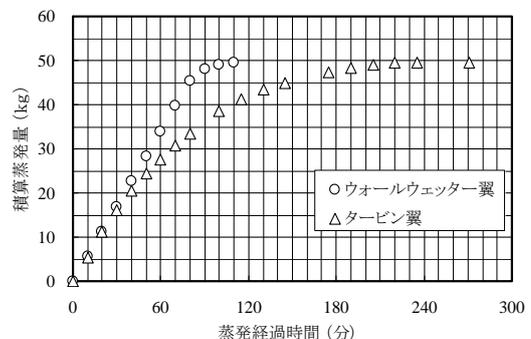


Fig. 5-3 蒸発時間の比較 (使用液体：水、温度差 $\Delta T = 20^\circ\text{C}$)

図2 蒸発所要時間の比較
(使用液：水、温度差 $\Delta T = 20^\circ\text{C}$)

ウォールウェッターの場合、半分以下の蒸発時間で済むことがわかります。

ジャケット側が水蒸気の凝縮伝熱の場合はジャケット側の伝熱抵抗は無視小です。缶内側の伝熱係数が問題ですが、ウォールウェッターによる強制対流を伴う蒸発の場合の境膜伝熱係数を液プール部と側壁の流下液膜部に分けて図3、4のように示します。十分に大きな伝熱係数が得られています。液膜流部が特に大きいのはウォールウェッターにより周期的に液が噴射される界面更新効果が伝熱促進をしていると考えられます。

5. 適用分野

1) 蒸発装置 (WW蒸発プラス) の1番目の実施例は既設の高真空の回分式蒸留装置で、融点：170℃、蒸発温度：180℃、2 torrの真空条件で、7000Lの底部(蒸発部)に4本タイプのウォールウェッターを取り付けたことにより、従来、蒸留に24時間かかっていたものが、14時間で作業を終了できました。

2) 反応装置 (WW反応プラス) 発熱反応の場合、反応の制御は除熱速度が支配的になり、除熱可能な量しか反応を進められない時間のかかる問題がありました。従来は反応が暴走しないように徐々に反応液を添加していたが、図5のように、ウォールウェッターを備えた反応槽では液が少量の時でも満杯時と同じ速度で除熱できるので、添加速度を大幅に上げることができ、所要時間を大幅に減らすことができました。

3) 晶析装置 (WW晶析プラス) 大きな結晶を選択的に成長させ、結晶の粒径分布を狭く、粒径を大きく揃えることができます。多形制御の可能性もあります。

4) 蒸留装置との組合せ (WW蒸留プラス)

この蒸留塔はスタートアップの最初から蒸発速度を一定で大きくできるので、最適運転つまり塔効率が最高になります。したがって還流比を最初から小さくでき、その分、省エネルギーになります。WW蒸留プラスの2番目の実施例は、5m³のリポイラー部にWWを装備したWW蒸留プラスを用いた結果、従来より約10%の省エネルギーを実現できました。(ユニット化して特許成立)

5) タンクの洗浄 ウォールウェッターの機能を使い、少量の洗浄液でタンク内壁を数回洗浄しても液の出し入れの時間が短縮でき、洗浄液の使用量を少なくできます。壁の洗浄を確実にすることで、その後のウォールウェッター本体と軸などを浸け洗いの回数を削減でき、溶媒の使用量を節約できます。(従来、3日間かかっていたのが、2日間に短縮できたとお客様から嬉しいお話を頂戴しています。)

6. 結び

ウォールウェッターの開発で分離技術会より1997年に技術賞を、化学工学会より1999年に技術賞を、近畿化学協会より2005年に化学技術賞を受賞しました。現在までの納入実績は150基を超え、40m³の蒸発缶が最大容量です。内7基がガラスライニング製です。ヨーロッパの特許も成立したのを契機に2006年のACHEMAにも展示させていただきました。いつでもお客様からのお問い合わせに対応できるように、実験装置やテスト機も用意しています。

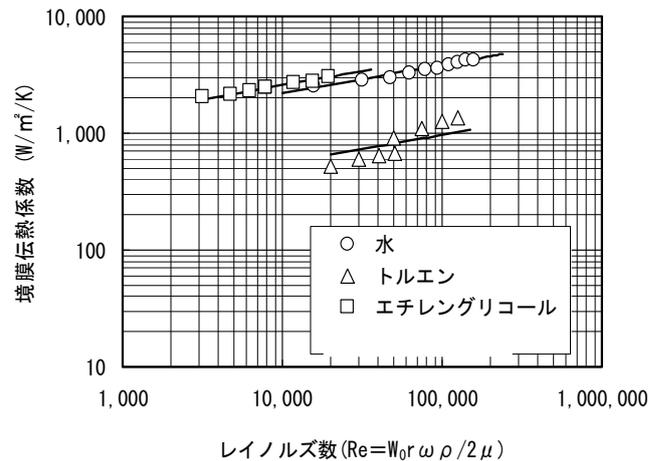


図3 液プール部の伝熱係数

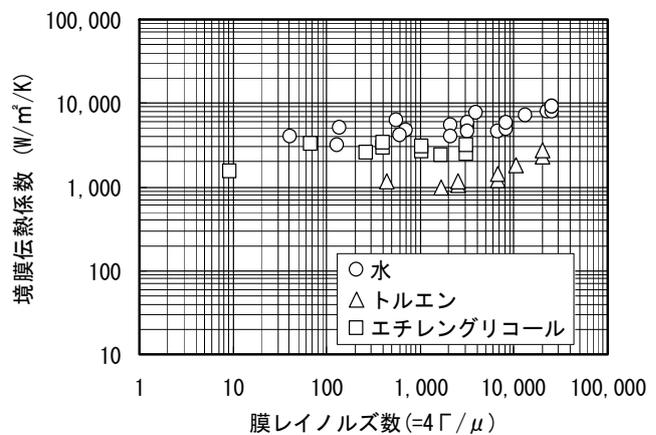


図4 液膜流部の伝熱係数

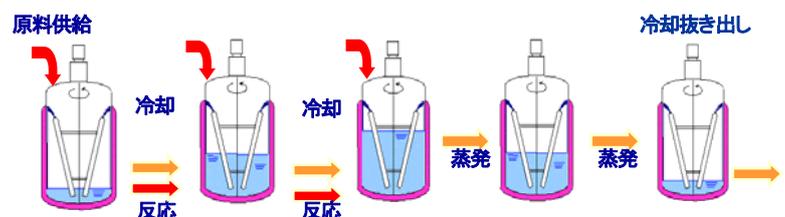


図5 ウォールウェッター反応器の運転概念(発熱反応の場合)